

УДК 621.38 (075.8)
ББК 32.87 я73
Э 45

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
Северо-Кавказского
федерального университета

Э 45 **Электроника:** учебник / Пашинцев П. А., Пашинцев В. П., Линец Г. И.,
Никулин В. И.; под общ. ред. П. А. Пашинцева. – Ставрополь: Изд-во
СКФУ, 2019. – 399 с.

Учебник составлен в соответствии с учебной программой по дисциплине «Электроника» по направлениям подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника».

В учебнике рассматривается элементная база аналоговых и цифровых устройств электросвязи, осуществляющих усиление, фильтрацию, генерацию и обработку сигналов, особенности микроминиатюризации таких устройств на базе применения интегральных микросхем. Приведены основные технические показатели и характеристики электронных приборов.

Предназначен для бакалавров, магистров и аспирантов, обучающихся по направлениям «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», «Информатика и вычислительная техника», а также для широкого круга специалистов в области систем связи, информатики и вычислительной техники.

УДК 621.38 (075.8)
ББК 32.87 я73

Авторы:

д-р техн. наук, профессор **П. А. Пашинцев**,
д-р техн. наук, профессор **В. П. Пашинцев**,
д-р техн. наук, доцент **Г. И. Линец**,
канд. техн. наук, доцент **В. И. Никулин**

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор **В. А. Цимбал**,
д-р техн. наук, профессор **И. А. Калмыков**

© ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский
федеральный университет», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ	10
1.1. Краткая характеристика полупроводников	10
1.2. Собственные и примесные полупроводники	14
1.3. Электрический ток в полупроводниках	20
1.4. Уравнение непрерывности	26
1.5. Поверхностный слой полупроводника	27
2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ.....	30
2.1. Общие сведения об электрических переходах	30
2.2. Образование электронно-дырочного перехода	32
2.3. Смещение p - n -перехода	37
2.4. Емкость и эквивалентная схема p - n -перехода	46
2.5. Вольт-амперная характеристика p - n -перехода	50
2.6. Переход металл-полупроводник	59
2.7. Гетеропереход	69
3. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ.....	77
3.1. Общие сведения о полупроводниковых диодах.....	77
3.2. Краткая характеристика методов формирования полупроводниковых диодов.....	80
3.3. Выпрямительные полупроводниковые диоды	84
3.4. Импульсные полупроводниковые диоды	89
3.5. Полупроводниковые диоды сверхвысоких частот	96
3.6. Варикапы.....	101
3.7. Полупроводниковые стабилитроны и стабисторы	103
3.8. Туннельные диоды	105
3.9. Обращенные диоды.....	111
3.10. Приборы Ганна.....	112
3.11. Лавинно-пролетные диоды	119
4. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА	125
4.1. Общие сведения о транзисторах	125
4.2. Устройство и режимы работы биполярного транзистора	127
4.3. Схемы включения биполярного транзистора.....	129
4.4. Биполярный транзистор в режимах отсечки и насыщения.....	131
4.5. Биполярный транзистор в активном режиме при нормальном включении по схеме с общей базой	134

4.6. Биполярный транзистор в активном режиме при нормальном включении по схемам с общим эмиттером и общим коллектором.....	142
4.7. Усилительные свойства биполярного транзистора.....	146
4.8. Схемы питания биполярных транзисторов.....	150
4.9. Эффект модуляции ширины базы (эффект Эрли)	152
4.10. Общие сведения о статических характеристиках биполярного транзистора	155
4.11. Входные статические (вольт-амперные) характеристики биполярного транзистора	157
4.12. Выходные статические характеристики биполярного транзистора	161
5. ПАРАМЕТРЫ, ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ СХЕМЫ И РАЗНОВИДНОСТИ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ.....	172
5.1. Дифференциальные параметры биполярного транзистора.....	172
5.2. Формальные эквивалентные схемы биполярного транзистора....	179
5.3. Физические параметры биполярного транзистора и его физическая эквивалентная схема	182
5.4. Составные транзисторы.....	185
5.5. Влияние элементов эквивалентной схемы БПТ на его параметры и рабочую частоту	189
5.6. Зависимость коэффициентов h_{21} от частоты	195
5.7. Частотные параметры биполярного транзистора.....	196
5.8. Дрейфовые биполярные транзисторы	199
5.9. Мощные высокочастотные транзисторы.....	201
5.10. Разновидности биполярных транзисторов	204
5.11. Системы справочных параметров	207
6. РАБОЧИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ	209
6.1. Нагрузочный режим работы биполярного транзистора	209
6.2. Общая характеристика аналитического метода расчета нагрузочных параметров.....	212
6.3. Графоаналитический метод расчета параметров нагруженного транзистора	213
6.4. Импульсный (ключевой) режим работы транзистора	215
6.5. Транзистор с диодом Шоттки.....	220
6.6. Температурные свойства биполярного транзистора	223
6.7. Методы термостабилизации режимов работы транзистора	227
6.8. Системы справочных параметров	229

7. ТИРИСТОРЫ	232
7.1. Общие сведения о тиристорах	232
7.2. Динисторы	233
7.3. Тринисторы	237
7.4. Разновидности, параметры и система обозначений тириستоров....	239
8. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ С УПРАВЛЯЮЩИМ p-n-ПЕРЕХОДОМ	243
8.1. Общие сведения о полевых транзисторах.....	243
8.2. Полевые транзисторы с управляющим p - n -переходом	244
8.3. Влияние напряжений на затворе и стоке на форму и сопротивление канала	246
8.4. Принцип действия.....	250
8.5. Статические характеристики	251
8.6. Дифференциальные параметры и физическая эквивалентная схема	255
9. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ С ИЗОЛИРОВАННЫМ ЗАТВОРОМ	259
9.1. Устройство и схемы включения	259
9.2. Принцип работы и классификация МДП-ПТ	261
9.3. МДП-транзистор с индуцированным каналом (обогащенного типа).....	264
9.4. МДП-транзистор со встроенным каналом (обедненного типа).....	269
9.5. Параметры и эквивалентная схема	271
9.6. Частотные и температурные свойства полевых транзисторов.....	274
9.7. Сравнительная оценка биполярных и полевых транзисторов.....	277
9.8. Некоторые разновидности полевых транзисторов и примеры простейших схем усилителей.....	279
9.9. Приборы с зарядовой связью	281
10. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И ИНДИКАТОРЫ.....	288
10.1. Общие сведения о фотоэлектрических (оптоэлектронных) приборах	288
10.2. Фоторезисторы	290
10.3. Фотодиоды	292
10.4. Фотоэлементы	297
10.5. Фототранзисторы	300
10.6. Светоизлучающие диоды	304
10.7. Оптроны	307
10.8. Полупроводниковые индикаторы	309

11. ЭЛЕМЕНТЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ	311
11.1. Общие сведения о микроэлектронике	311
11.2. Основные направления технологии интегральной микроэлектроники	314
11.3. Элементы пленочных и гибридных интегральных микросхем	317
11.4. Общая характеристика полупроводниковых интегральных микросхем	320
11.5. Элементы полупроводниковых микросхем, сформированные на основе биполярных транзисторов	323
11.6. Элементы полупроводниковых микросхем, сформированных на основе полевых транзисторов	328
11.7. Сравнительная оценка полупроводниковых микросхем на биполярных и униполярных транзисторах	330
11.8. Вакуумные интегральные микросхемы	333
12. СОБСТВЕННЫЕ ШУМЫ, РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ	340
12.1. Общие сведения о шумах.....	341
12.2. Шумы полупроводниковых приборов.....	343
12.3. Шумы электронных ламп.....	348
12.4. Радиационная стойкость электронных приборов.....	349
12.5. Надежность электронных приборов.....	355
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ	 361
ЛИТЕРАТУРА	363
ГЛОССАРИЙ	365
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	367
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	371
ПРИЛОЖЕНИЯ	374